DIE RADIOAKTIVEN EIGENSCHAFTEN EINIGER SOLQUELLEN NORD- UND MITTELDEUTSCHLANDS.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

VEREINIGTEN FRIEDRICHS-UNIVERSITÄT

HALLE-WITTENBERG

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

VORGELEGT VON

HANS WIEPRECHT

AUS MAGDEBURG.

HALLE a. S.
HOFBUCHDRUCKEREI VON C. A. KAEMMERER & CO.
1909.

Referent: Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **Dorn.**

Meinen lieben Eltern in Dankbarkeit!

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548101_0074

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Einleitung. Gegenstand der Untersuchung . . 7
II. Die Apparate 8
III. Die Methode und die Verwertung der Beobachtungen 12
IV. Die Ergebnisse 23
V. Quellsedimente 42
VI. Schlußwort 48

Einleitung.

Gegenstand der Untersuchung.

Nachdem Elster und Geitel[1]) den Nachweis der Radioaktivität der atmosphärischen Luft durch Messungen der Elektrizitätszerstreuung und durch Drahtaktivierungen erbracht hatten, zeigten J. J. Thomson[2]) und unabhängig von ihm Himstedt,[3]) dass auch in Quellwässern radioaktive Gase enthalten sind. Dadurch wurde eine weitgehende Beschäftigung mit diesem Gegenstand veranlasst,[4]) und die Untersuchung vieler Quellwässer bestätigte, dass in den meisten Fällen das aktive Gas mit Radiumemanation identisch war. In manchen Quellen wurden auch geringe Mengen von Radiumsalz nachgewiesen, z. B. von Strutt[5]) in denen von Bath und Buxton, und von Dorn[6]) im Karlsbader Wasser. Auch Thoremanation kommt öfter vor, sie wurde beispielsweise von H. W. Schmidt[7]) in einigen Quellen des Taunus und Westerwalds, sowie von F. Jentsch[8]) in den Kissinger Quellen gefunden.

Auf Veranlassung und mit gütiger Unterstützung von Herrn Geheimrat Dorn unternahm ich es nun, einige

1) Ann. d. Physik. 11. 1900. p. 425.
2) Phil. Mag. Sept. 1902. Vol. IV. Ser. VI. p. 352.
3) Ann. d. Physik. 13. 1904. p. 573.
4) Die Literatur: cf. Reichau, Dissertation, Halle 1908. p. 6.
5) Proc. Royal. Soc. 73. 1904. p. 191.
6) Abhandl. d. naturforsch. Ges. Halle 25. 1904. p. 107.
7) Phys. Zeitschr. 7. 1906. p. 209.
8) Phys. Zeitschr. 8. 1907. p. 887.

Solquellen Nord- und Mitteldeutschlands zu untersuchen, um die Natur der darin gelösten radioaktiven Gase festzustellen, und ihren Gehalt an Radiumemanation in einem allgemein vergleichbaren Maß zu bestimmen.

Die Apparate.

Der Gehalt an radioaktiven Substanzen wurde in bekannter Weise an der Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit gemessen, welche die Luft bei Vorhandensein von radioaktiven Gasen erfährt. Bei meinen Vorversuchen benutzte ich dazu einen Elster-Geitelschen Apparat aus der Sammlung des physikalischen Instituts, bestehend aus einem mit 3 Fußschrauben versehenen Eisenteller, auf welchen ein Exnersches Elektrometer aufgesetzt ist, und einer Zinkglocke, die auf den Teller luftdicht aufgepreßt wird. Die Ablesung und Beleuchtung der Skala des Elektrometers geschah hierbei durch zwei diametral gegenüberstehende Fenster, die Aufladung durch eine isoliert eingeführte drehbare Sonde. Dieses Instrument zeigte aber bei seinem Gebrauch verschiedene Mängel. Vor allem war das ganze Elektroskop radioaktiven Einflüssen ausgesetzt, und es lag so die Gefahr nahe, daß das Instrument durch langlebige Zerfallsprodukte leiden würde. Deßhalb baute ich den Apparat so um, daß das Elektrometer außerhalb des Zerstreuungsraums angebracht wurde, und gab ihm folgende Anordnung: Ein Eisenteller T (Fig. 1), mit 3 Fußschrauben versehen, trägt 3 Säulen S, an deren oberem Ende der Teller R des Zerstreuungsraums befestigt ist. Hierin ist das Rohr eingeschraubt, welches das Elektroskop mit dem Zerstreuungskörper trägt. In das obere Ende dieses Rohres ist ein Bernsteinkörper eingekittet, durch welchen ein Messingrohr führt, worauf der Zerstreuungskörper gesteckt werden kann, und das unten in eine Spiralfeder endigt, welche nach Ansetzen des Elektroskops den Blättchenträger mit leichtem Druck berührt. Bei L ist die Ladevorrichtung angebracht, bestehend aus einem kurzen

Stift, welcher durch eine Öffnung des Rohrs nach außen führt. Diese gesamte Einrichtung, in welche sich das Elektroskop von unten her einschiebt, ist mit einem Flansch F versehen, der gegen eine Lederscheibe gezogen ist, um bei einer etwa nötig werdenden Reparatur den Bernsteinpfropf bequem herausnehmen und nachpolieren zu können. Oben wird der Zerstreuungskörper aufgesetzt, ein leichter Zylinder aus geschwärztem Messingblech von 2,5 cm Grundflächenradius und 10 cm Höhe. Bei den Versuchen wurden ihrer zwei benutzt, um den Einfluss etwa darauf zurückgebliebener Restaktivitäten möglichst gering zu machen, was sich besonders dann als nötig erwies, wenn mehrere Versuche kurz hinter einander gemacht wurden.

Das benutzte Elektroskop war mit einer parallaxenfreien Ablesevorrichtung nach Elster und Geitel[1]) versehen. Auf den Teller R wird die Glocke des Zerstreuungsraums aufgesetzt, welche mit 2 Hähnen zur Einführung der radioaktiven Gase versehen ist. Dazu wurde an den unteren Hahn die Zugseite eines Gummigebläses angeschlossen, dessen andere Seite in einem Glasrohr endet, das den doppelt durchbohrten Stopfen der das Quellwasser enthaltenden Flasche durchsetzt und ziemlich bis zum Boden reicht. Von dem zweiten Glasrohr, welches im Flaschenhals endigt, führt ein Schlauch zu einer Trockenröhre, halb mit Chlorcalcium, halb mit Watte gefüllt, und von hier aus ein zweiter Schlauch zum oberen Hahn des Meßraums. Ein vollkommen luftdichter Abschluß der Probeflasche wurde dadurch erzielt, daß der die Röhren tragende Kork bis etwas unter den Flaschenrand eingedrückt und dann heißes Paraffin aufgegossen wurde. Bei der Untersuchung frischer Quellwässer verwandte ich eine Flasche mit eingeschliffenem Stöpsel. Die Schläuche, welche zur Vermeidung von Undichtigkeiten sehr oft erneuert wurden, waren außerdem mit Gummiband an den Hähnen und Rohren befestigt.

---

1) Göttinger Nachrichten, 1902, p. 8.

Alle Leitungen bilden einen in sich geschlossenen Kreis, in welchem die Luft bei Betätigung des Gebläses zirkuliert und sich beim Durchperlen der Flüssigkeit mit radioaktiven Gasen sättigt.

Zur Austreibung der Emanationen wurde auch die von Mache[1]) und H. W. Schmidt[2]) angegebene Schüttelflasche benutzt, welche mit 3 Hähnen versehen und oben mit einer Messingkappe und Gummischeibe luftdicht verschlossen ist. Das Einfüllen der Probe geschah in der Weise, daß die Sole aus der Versandtflasche nach dem über dem Boden befindlichen Hahn der Schüttelflasche unter Vermeidung von jeglicher Durchperlung von Luft hinübergeleitet wurde, bis das Flüssigkeitsniveau dicht unter dem mittleren Hahn stand. Die durch kräftiges Schütteln ausgetriebenen Gase wurden dann in der oben beschriebenen Weise ohne Vorschaltung von Trockenröhren mit der Luft des Meßraums vermischt.

Bei den Untersuchungen einiger Proben auf Thoremanation, welche ich im physikalischen Institut zu Halle ausführte, benutzte ich statt des Elster-Geitelschen ein Quadrantelektrometer. Die Versuchsanordnung war hierbei folgende:

Der oben beschriebene Apparat, von dem das Elektrometer abgenommen war, wurde auf eine Paraffinplatte isoliert aufgestellt und mit dem positiven Pol einer Akkumulatorenbatterie von 400 V. Spannung verbunden, der negative Pol war geerdet. Vom Ladestift führte ein Draht, der zum Schutz gegen äußere elektrische Einflüsse in eine geerdete Messingröhre mit Paraffin eingeschmolzen war, zu dem Quadrantenpaar a und b des Elektrometers (Fig. 2). Die Nadel war mit dem positiven Pol einer Trockenbatterie nach Krüger von 200 V. Spannung verbunden, das andere Quadrantenpaar war mit der Hülle des Elektrometers ge-

1) Wiener Ber. 113, Abt. IIa. 1329. 1904.
2) Physik. Zeitschr. 6. 1905. p. 561.

erdet. Über der Klemme, welche zum Quadranten b führte, war eine Büchse angebracht, in welcher ein Kupferbügel, durch ein Stückchen Blei beschwert, auf dem Verbindungsdraht mit dem Meßraum lag und so auch die Quadranten a und b mit dem Zerstreuungskörper für gewöhnlich an Erde legte. Durch einen außen angebrachten Seidenfaden konnte der Bügel gehoben und die Erdleitung des Quadrantenpaars a und b aufgehoben werden. Kommen nun radioaktive Gase in den Meßraum, so wird die Luft dadurch leitend und es geht Elektrizität auf den Zerstreuungskörper über, welche in das Elektrometer gelangt, wenn durch Ziehen am Faden die Erdleitung von a und b aufgehoben ist. Die beobachteten Nadelablenkungen sind der übergegangenen Elektrizitätsmenge und somit der Strahlung im Meßraum proportional. Abgelesen wurde mit Fernrohr und Skala, welche sich in ungefähr 1,4 m Entfernung vor dem Spiegel des Elektrometers befand.

Die Dimensionen und Konstanten der benutzten Apparate sind folgende: Die Glocke des Meßraums hat etwa eine Höhe von 35 cm und einen Durchmesser von 18 cm, ihr Rauminhalt beträgt demnach 8400 ccm nach Abzug von 200 ccm für den Zerstreuungskörper. Die Eichung des Elektrometers war von der Firma Günther & Tegetmeyer, Braunschweig, ausgeführt und wurde im Laufe der Versuche öfter wiederholt, besonders nach Bahntransporten, und von mir mit Hülfe eines Rheostaten und Präzisionsvoltmeters kontrolliert. Die Kapazität des Apparates, mit Hülfe eines Harmsschen Kondensators bestimmt, betrug bei übergestülpter Glocke 15,0 cm, die Kapazität des Elektrometers allein 5 cm. Die Spannungen, mit denen gearbeitet wurde, waren so gewählt, daß Sättigungsstrom vorhanden war, und lagen zwischen 210 und 150 V.

Was das Volumen der Schlauchleitungen und Trockenröhren anbetrifft, so war das natürlich von Versuch zu Versuch verschieden und ist deshalb bei den Resultaten mit angegeben. Der Druckball faßte ungefähr 140 ccm und wurde in der Minute ca. 20 bis 25 mal zusammengepreßt,

es wurden also durchschnittlich 2 500 ccm Luft in der Minute gefördert. Zur vollständigen Sättigung der Luft mit radioaktiven Gasen genügten, wie Vorversuche bewiesen, 20 Minuten.

Das Volumen der Schüttelflasche vom Boden bis zum mittleren Hahn betrug 3 465 ccm, der übrige Raum 3 260 ccm. Die Entaktivierung des Quellwassers wurde hierbei durch 3 Minuten langes, kräftiges Schütteln erreicht, die vollständige Durchmischung der Luft im Zerstreuungsraum und Schlauchleitungen mit der in der Schüttelflasche nach 4 Minuten langer Luftzirkulation.

Untersucht wurden frische sowie mehrere Tage alte Quellproben, die frischen an Ort und Stelle, die anderen im physikalischen Laboratorium des Gymnasiums zu Neuhaldensleben. Von den ersteren wurde gewöhnlich etwas über 2 l Sole verwandt, von den letzteren ca. 3 l. Beim Einfüllen der Proben in die gut gereinigten und vorher mit der betreffenden Sole ausgespülten Flaschen wurde besonders das Durchperlen von Luft vermieden, um ein vorzeitiges Entweichen radioaktiver Gase zu verhindern. Die Flaschen, in welchen die Proben versandt wurden, waren mit gut paraffinierten Korken verschlossen, auf welche heißes Paraffin gegossen war, sodaß ein Verlust von Emanation auf dem Transport auch ausgeschlossen war.

Die Methode.

Die aktiven Gase wurden nur kurze Zeit im Meßraum belassen, um dort die Ansammlung langlebiger Zerfallsprodukte nach Möglichkeit zu verhindern. Ein Versuch dauerte gewöhnlich 1 bis $1^1/_2$ Stunde. Der Gang einer Untersuchung war folgender:

Nachdem der Zerstreuungskörper auf das Elektrometer aufgesetzt und vermittelst einer Zambonisäule negativ geladen war, wurde die Glocke auf den gut eingefetteten Rand des Tellers gesetzt, mit Klemmschrauben luftdicht aufgepreßt

und an Erde gelegt. Hierauf überließ ich den Apparat eine Viertelstunde lang sich selbst, um die Bernsteinpfropfen vollständig zu polarisieren und beobachtete dann 15 Minuten lang die natürliche Zerstreuung der Luft im Kessel. Es ist anzunehmen, daß sich dieselbe während der kurzen Versuchsdauer nicht ändert. Nun wurden die in der Probe enthaltenen radioaktiven Gase auf die oben angegebene Weise in den Zerstreuungsraum gebracht, die Hähne am Kessel geschlossen und die Erhöhung der Leitfähigkeit an der Abnahme der Elektrometerladung beobachtet.

Die Blättchen wurden gezwungen, stets das auf p. 11 angegebene Skalenintervall zu durchlaufen, wobei der in einer bestimmten Zeit stattfindende Potentialverlust gemessen wurde. Dazu wurde das Elektrometer in regelmäßigen Intervallen abgelesen, bei starken Aktivitäten von Minute zu Minute, bei schwächeren in entsprechend längeren Zeiten. Von diesen Ablesungen ausgehend wurde der Spannungsverlust für 2 bis 4 Minuten genommen und hieraus der Potentialabfall pro Minute berechnet, wie er in der mittleren Zeit zwischen beiden Ablesungen stattfinden würde. Dadurch werden Fehler, welche durch Beobachtungen und durch ungleiches Wandern der Blättchen, der sogenannten Cri-Cri-Erscheinung, hervorgerufen werden, um so mehr verschwinden, je größer das Intervall zwischen beiden Ablesungen genommen wird. Hierbei dürfen natürlich zwei zugeordnete Ablesungen nicht weiter auseinander liegen, als man innerhalb dieses Intervalls die Änderung der Aktivität vernachlässigen kann. Darum würden auch dort, wo es sich um kurzlebige Elemente wie Thoremanation handelt, die Werte zwischen den einzelnen Ablesungen selbst genommen. Begonnen wurden die Beobachtungen beim Schließen der Hähne und 35 bis 40 Minuten lang fortgesetzt.

Die so erhaltenen Werte sind nun als Ordinaten, die dazugehörigen Zeiten als Abzissen in ein Koordinatensystem eingetragen, um die den einzelnen Beobachtungen noch anhaftenden Fehler graphisch auszugleichen und den Wert der Leit-

fähigkeit zur Zeit des Ausblasens der radioaktiven Gase zu extrapolieren.

Letztere wurden in der Weise entfernt, daß die Glocke aus ihrer Verbindung mit dem Teller gelöst und zu einer bestimmten Zeit abgehoben wurde. Um alle Gase sicher auszutreiben, schwenkte ich die Glocke 3 Minuten lang kräftig in frischer Luft und ließ sie dann 10 Minuten im Freien stehen.

Die Größe der auf den Wandungen induzierten Aktivität bestimmte ich durch Beobachtung der Zerstreuung von der 13. bis 18. Minute nach Entfernung der Emanation, da es Vorversuche mit Radiumemanation sehr wahrscheinlich machten, daß ein 3 Minuten langes Ausschwenken der Glocke zur Entfernung der Emanation nicht vollständig genügte.

Nach Beendigung eines Versuches wurden schließlich sämtliche Teile, welche mit der Emanation in Berührung gekommen waren, sorgfältig mit Alkohol ausgewaschen und mit einem Tuche abgerieben.

Um ein Bild vom Verlauf einer solchen Untersuchung zu geben, sei ein beliebig herausgegriffenes Beobachtungsprotokoll mitgeteilt. Das Resultat ist durch Kurve II Fig. 3 dargestellt.

Johannesquelle, Kösen. 25. Juli 1908.

Natürliche Zerstreuung:

Zeit	Ausschlag			Volt	Zerstr. in Volt/Min.
	links	rechts	Summe		
$2^h\ 54^m$ nachm.	13,6	13,6	27,2	203,0	0,21
$3^h\ 19^m$	13,0	13,0	26,0	197,8	
Sole entaktiviert von $3^h\ 23^m$—$3^h\ 50^m$					
$3^h\ 50$	14,1	14,2	28,3	207,8	—
51	13,8	13,9	27,7	205,2	2,65
52	13,5	13,6	27,1	202,5	2,85
53	13,2	13,2	26,4	199,5	2,75
54	12,9	12,9	25,8	197,0	2,95
55	12,5	12,5	25,0	193,6	2,85
56	12,2	13,2	24,5	191,3	2,85
57	19,1	11,9	23,8	187,9	2,95

Zeit	Ausschlag			Volt	Zerstr. in Volt|Min.
	links	rechts	Summe		
58	11,6	11,7	23,3	185,4	2,95
59	11,3	11,3	22,6	182,0	2,95
4h 0	11,0	11,1	22,1	179,5	2,95
1	10,7	10,7	21,4	176,1	3,05
2	10,4	10,4	20,8	173,4	3,05
3	10,0	10,0	20,0	170,0	3,10
4	9,7	9,7	19,4	167,2	—
5	—	—	—	—	—
6	9,1	9,2	18,3	161,8	—
7	8,8	8,9	17,7	158,7	3,20
8	8,5	8,6	17,1	155,4	3,05
9	8,3	8,3	16,6	152,6	3,10
10	8,0	8,0	16,0	149,2	—
11					
12					
13					
14					
15	15,2	15,2	30,4	215,8	—
16	14,8	14,8	29,6	212,9	3,10
17	14,3	14,4	28,7	209,6	3,20
18	14,0	14,0	28,0	206,5	3,30
19	13,6	13,6	27,2	203,0	3,25
20	13,2	13,3	26,5	200,0	3,20
21	12,8	12,9	25,7	196,6	3,20
22	12,5	12,5	25,0	193,6	3,15
23	12,1	12,2	24,3	190,3	3,35
24	11,8	11,8	23,6	186,9	2,95
25	11,5	11,6	23,1	184,4	3,30
26	11,1	11,1	22,2	180,0	3,90
27	10,7	10,8	21,5	176,6	3,30
28	10,4	10,4	20,8	173,4	3,30
29	10,0	10,0	20,0	170,0	3,35
30	9,6	9,7	19,3	166,7	3,35
31	9,3	9,3	18,6	163,3	3,20
32	9,0	9,0	18,0	160,3	3,40
33	8,6	8,7	17,3	156,5	4,40
24	8,2	8,2	16,4	151,5	3,35
35	8,0	8,1	16,1	149,8	—

37 Emanation entfernt.

Zeit	Ausschlag			Volt	Zerstr. in Volt|Min.
	links	rechts	Summe		
	Induzierte Aktivität:				
4h 50	13,7	13,7	27,4	203,9	1,22
55	13,0	13,0	26,0	197,8	

Die aus den beobachteten Werten erhaltene Kurve, in Fig. 3 mitgeteilt, läßt nicht nur eine Bestimmung der Größe des Potentialabfalls zu, ihre Gestalt gestattet auch, auf die Natur der radioaktiven Gase zu schließen. Von allen bekannten Radioelementen kommen hierbei nur Radium und Thoremanation in Betracht, da Aktiniumemanation mit einer Halbierungskonstanten von 3,7 Sek. überhaupt nicht oder nur in solchen Mengen in den Meßraum gelangt, daß sie mit den benutzten Hülfsmitteln nicht nachgewiesen werden kann.

Radiumemanation mit einer Halbierungkonstanten von 3,7 Tagen besitzt dagegen eine lange Lebensdauer und zerfällt in dieser Zeit in Radium A mit einer Halbierungskonstanten von 3 Minuten, dieses in Radium B, welches sich in 26,7 Minuten zur Hälfte in Radium C umwandelt, das seinerseits eine Halbierungskonstante von 19,5 Minuten besitzt. Wenn daher Radiumemanation in den Meßraum gebracht wird, so beobachtet man zunächst ein Ansteigen der Leitfähigkeit, welche von den neugebildeten Produkten Radium A, B und C herrührt. Nach ungefähr 2 Stunden ist zwischen den neugebildeten Radioelementen und der zerfallenden Emanation ein Gleichgewichtszustand eingetreten, und nun beobachtet man den normalen Zerfall der Radiumemanation an der Abnahme der Leitfähigkeit nach dem Exponentialgesetz

$$J_t = J_0 \, e^{-\lambda t}$$

wo λ die charakteristische Abklingungskonstante bedeutet. Zum einwandfreien Nachweis von Radiumemanation müßte man daher die Beobachtungen mindestens 3 bis 4 Stunden nach Erreichung des Gleichgewichtszustandes fortsetzen und

aus diesen λ berechnen. Nun dauerten aber meine Beobachtungen aus den oben angegebenen Gründen nur 30 bis 40 Min.; in dieser Zeit dient aber nur der Anstieg der Leitfähigkeit als Zeichen des Vorhandenseins von Radiumemanation. Dadurch unterscheidet sie sich aber wesentlich von Thoremanation, die schon in 54 sec. auf die Hälfte sinkt. Um vollständig sicher zu gehen, stellte ich Versuche mit Lösungen von Radiumemanation an, nahm die Kurve auf, welche diese ergibt (Fig. 3, Kurve I) und verglich sie mit den Kurven, welche die Quellwässer ergaben. Die meisten zeigten vollständige Übereinstimmung mit denen für Radiumemanation, wie die für die Johannesquelle konstruierte, sodaß also hier mit Sicherheit auf das Vorhandensein von Radiumemanation geschlossen werden kann.

Andere Kurven zeigten einen starken Abfall in den ersten Minuten nach Beendigung der Luftzirkulation, welcher mit großer Wahrscheinlichkeit auf das Vorhandensein von Thoremanation hindeutet. Der einwandsfreie Nachweis ist jedoch bei dieser Methode wegen der kurzen Lebensdauer kaum möglich. Erstens dauert es verhältnismäßig lange, bis sie aus dem Wasser in den Meßraum gelangt und hier gleichmäßig verteilt ist, sodaß nur ein geringer Bruchteil der ursprünglichen Menge zur Messung gelangt. Dann aber gestattet die Beobachtungsweise nicht, den Abfall genau aufzunehmen, da selbst in der kürzesten Zeit zwischen zwei Ablesungen die Emanation schon zur Hälfte zerfallen ist. Die Kurve gibt also hierbei nur annähernd den Verlauf des Zerfalls an. Zum genaueren Nachweis wurden daher empfindlichere Hülfsmittel angewendet, welche gestatteten, die Ablesungen in Bruchteilen von Minuten vorzunehmen. Die Zeitmessung geschah hierbei mit Taschenuhr und laut schlagendem Sekundenpendel.

Ein dritter Typ von Kurven zeigte Anfangs den starken Abfall von Thoremanation, um nach einigen Minuten wieder anzusteigen. (Fig. 4.) Hier haben wir es offenbar mit Wässern zu tun, welche Radium und Thoremanation enthalten.

Es handelt sich nun darum, ein allgemein vergleichbares Maß für den Gehalt einer Flüssigkeit an Radiumemanation festzustellen. Als ersten Anhalt dafür haben wir den Spannungsverlust zur Zeit des Entfernens der Emanation, wie wir ihn aus den beobachteten Werten extrapolieren können. Davon ist aber die Wirkung der induzierten Aktivität in Abzug zu bringen, welche nur von Radium und seinen Zerfallsprodukten verursacht werden kann, denn in den 35 bis 50 Minuten, in welchen beobachtet wird, ist alles verschwunden, was etwa von Thoremanation herrührt.

Bei dieser Bestimmung schloß ich mich dem Vorgange von Engler und Sieveking[1]) an, welche zur Berechnung annehmen, daß die frisch induzierte Aktivität des Radiums in einer Viertelstunde auf 90% ihres Anfangswertes sinkt. Es wurde also so verfahren, daß die Zerstreuung in der 13. bis 15. Minute nach Entfernung der Emanation beobachtet wurde. Der so erhaltene Wert ist demnach mit 1,1 zu multiplizieren, um die anfängliche zu erhalten.[2]) Wir bekommen dann durch Subtraktion von der Gesamtzerstreuung den Betrag des Spannungsverlustes, der von der Emanation allein hervorgerufen wird, wobei noch die natürliche Zerstreuung der Luft in Rechnung zu ziehen ist.

Zur Erläuterung sei die Rechnung an dem oben angegebenen Beobachtungssatz durchgeführt. Aus der Kurve ergibt sich für die Gesamtzerstreuung 3,38 Volt/Min., und nach Abzug der natürlichen 3,17 Volt/Min. Der Spannungsabfall in der 13. bis 18. Minute beträgt mit Berücksichtigung der letzteren 1,01 Volt; das würde einem Potentialverlust

1) Engler und Sieveking, Radium und Radioaktivität der Mineral- und Thermalquellen. Bäderalmanach 1907.

2) Nachträgliche Versuche lassen auf einen größeren Koeffizienten zur Berechnung der induzierten Aktivität schließen. Hiernach ist etwa 1,7 statt 1,1 anzusetzen. Da aber dieser Umstand die Relativwerte meiner Resultate nicht merklich beeinflußt, habe ich die Umrechnung unterlassen. Letztere kann aus den im Nachfolgenden angegebenen Werten leicht geschehen.

von 1,11 Volt beim Beginn des Ausblasens entsprechen. Mithin beträgt der von der Emanation allein herrührende Betrag des Spannungsverlustes $3{,}17 - 1{,}11 = 2{,}06$ Volt/Min.

Es ist nun zu berechnen, wie groß die Zerstreuung sein würde, welche von der in einem Liter Flüssigkeit enthaltenen Emanationsmenge hervorgebracht wird. Bezeichnen wir dazu mit

- i den Potentialfall, welcher von der Emanation allein hervorgebracht wird, in Millivolt/sec.
- l_1 Volumen des Meßraums in ccm
- l_2 Luftvolumen in den Probeflaschen in ccm
- l_3 Luftvolumen in Schlauchleitung und Trockenröhren in ccm
- L_2 Luftvolumen in der Schüttelflasche in ccm
- w die Menge der Sole in ccm
- α den Absorptionskoeffizienten

und betrachten zunächst den Fall, daß die Emanation durch Zirkulation ein und desselben Luftvolumens ausgetrieben wird. Dann ist die Zerstreuung, welche von der aus der Sole in Luft übergetretenen Emanationsmenge hervorgebracht wird

$$\frac{i}{l_1}(l_1 + l_2 + l_3)$$

im Wasser ist zurückgeblieben die Menge, welche die Zerstreuung

$$\frac{i\,\alpha\,w}{l_1}$$

hervorruft.

Also ist die Wirkung der in einem Liter Flüssigkeit enthaltenen Emanation:

$$J = \frac{1000}{w}\,\frac{i}{l_1}(l_1 + l_2 + l_3 + \alpha\,w)$$

Etwas anders stellt sich die Berechnung bei Verwendung der Schüttelflasche, wo die mit Emanation gesättigte Luft über der Sole mit der des Meßraums und der

Zuleitungen vermischt wird. Hier würde die Gesamtmenge der in Luft befindlichen Emanation die Zerstreuung

$$\frac{l_1 + L_2 + l_3}{l_1} i$$

hervorrufen, die in der Flüssigkeit zurückgebliebene die Zerstreuung

$$\alpha \frac{w}{L_2} \frac{l_1 + L_2 + l_3}{l_1} i$$

also ist hier die Gesamtwirkung der in 1000 ccm enthaltenen Emanationsmenge gegeben durch

$$J = \frac{1000}{w} \frac{l_1 + L_2 + l_3}{l_1} \left(1 + \alpha \frac{w}{L_2}\right) i$$

J ist der Spannungsverlust, in Millivolt/sec. ausgedrückt, den die gesamte in einem Liter Sole enthaltene Emanationsmenge hervorrufen würde, eine Größe, die aber noch von der Kapazität C des benutzten Apparates abhängig ist. Um nun ganz allgemein vergleichbare Resultate zu erhalten, müssen wir nach Mache[1]) den Sättigungsstrom angeben, den die Emanation zu unterhalten vermag. Dazu ist J mit der Kapazität des Apparates zu multiplizieren und die Volt sind durch elektrostatische Einheiten auszudrücken. Dann bekommen wir für den Sättigungsstrom E:

$$E = \frac{C \cdot J}{300}$$

Da die Kapazität des von mir benutzten Apparates $C = 15$ cm ist, gilt für unsere Berechnungen:

$$C = \frac{J}{20}$$

Es ist schließlich noch, wie es von H. W. Schmidt[2]) und F. Jentsch[3]) getan ist, das Volumen und die Ober-

1) Wiener Ber. 113, Abt. IIa, 1329, 1904.
2) Phys. Zeitschr. 5. 130. 1904.
3) Phys. Zeitschr. 6. 337. 1905.

fläche des Meßraums zu berücksichtigen. Es werden nämlich nach Duane[1]) nicht alle Strahlen, welche die Emanation aussendet, von der Luft absorbiert, sondern ein Teil geht durch Absorption in den Gefäßwänden verloren. Bezeichnen wir den Strom, wie er gemessen würde, wenn diese nicht stattfände, mit E_0, dann besteht folgende Beziehung zwischen E und E_0:

$$E = E_0 \left[1 - \frac{0{,}326}{0{,}63} \frac{0}{l_1} \right]$$

wo 0 die Oberfläche des Meßraums bedeutet; oder

$$E_0 = \frac{E}{1 - 0{,}52 \frac{0}{l_1}}$$

E_0 ist die eigentliche, von allen Versuchsbedingungen unabhängige Größe, welche uns ein allgemein vergleichbares Maß für den Emanationsgehalt von Flüssigkeiten gibt.

Für unseren Apparat ist $0 = 4695$ qcm, $l_1 = 8400$ ccm daher

$$E_0 = 1{,}41\, E$$

Zur Berechnung der Resultate bedarf es der Kenntnis des Absorptionskoeffizienten, worunter das Verhältnis

$$\alpha = \frac{\text{Dichte der Emanation in Flüssigkeit}}{\text{Dichte der Emanation in Luft}}$$

verstanden wird. Nach Untersuchungen von Traubenberg[2]) und von R. Hofmann[3]) ist dieser Koeffizient sowohl von der Temperatur sowie von der Natur der Flüssigkeit abhängig, in welcher die Emanation gelöst ist. Die meinen Berechnungen zu Grunde gelegten Werte habe ich der Arbeit von Kofler[4]) entnommen, welcher diesen Koeffizienten für eine Anzahl von Lösungen in seiner Abhängigkeit vom

1) Journ. d. Phys. (4) 4. 605.
2) Phys. Zeitschr. 5. 130. 1904.
3) Phys. Zeitschr. 6. 337. 1905.
4) Phys. Zeitschr. 9. 1908. p. 6.

spez. Gewicht bestimmt hat. Dabei habe ich angenommen, daß sich die Solen in ihrem Verhalten nicht wesentlich von reinen Chlornatriumlösungen unterscheiden, und ferner, daß die Änderung von α mit der Temperatur dieselbe ist wie bei reinem Wasser. Die unter diesen Voraussetzungen erhaltenen Werte von α sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Ort der Herkunft der Probe	spez. Gewicht	Temp.	α
Artern	1,030	15°	0,182
Elmen, Schachtsole	1,065	18,4°	0,130
„ Viktoriaquelle	1,028	16,7°	0,181
Kösen, Johannesquelle	1,037	15°	0,169
Salzdetfurth, Brunnen I	1,072	21°	0,122
„ „ II	1,060	21°	0,129
„ „ III	1,049	21°	0,149
Schöningen, Bohrloch III	1,105	14,9°	0,093
Sulza, Beustquelle	1,116	19°	0,083
„ Sophienquelle	1,040	18°	0,163
„ Konstantinquelle	—	16°	0,089[1])
„ Heinrichquelle	1,205	20°	0,041
„ Kunstgrabenquelle	—	17°	0,141[1])
Suderode	1,013	16°	0,209

Bei alten Quellproben sind die Werte für J nach dem bekannten Exponentialgesetz auf die Zeit des Einfüllens umzurechnen. Genauer kann man aber verfahren, wenn man mehrere gleichzeitig sorgfältig abgefüllte Proben von derselben Quelle zur Verfügung hat und diese nach einander untersucht. Man bekommt dann soviel Werte für die im Wasser abklingende Emanation, als Proben untersucht sind und kann aus diesen die Zerfallskonstante λ sowie die Stärke der Emanation zur Zeit des Einfüllens berechnen. Am zweckmäßigsten werden alle Beobachtungen

1) Aus dem Prozentgehalt an NaCl berechnet.

verwandt, wenn man nach der Methode der kleinsten Quadrate rechnet. Bezeichnen wir die von der Emanation herrührende Zerstreuung zur Zeit t mit J_t, die zur Zeit des Einfüllens mit J_0, so ergibt sich:

$$\log J_0 = \frac{\Sigma t^2 \Sigma \log J_t - \Sigma t \Sigma t \log J_t}{n \Sigma t^2 - (\Sigma t)^2}$$

und

$$\lambda = \frac{\Sigma t \Sigma \log J_t - n \Sigma t \log J_t}{n \Sigma t^2 - (\Sigma t)^2}$$

wo n die Anzahl der Versuche bedeutet. Diese Methode habe ich bei der Untersuchung des Beringerbrunnens in Suderode und der Schachtsole aus Elmen angewandt. Sie bietet den Vorteil, den Zerfall der Emanation länger verfolgen zu können, ohne sie die ganze Zeit im Meßraum zu haben.

Die Ergebnisse.

Alle untersuchten Wässer zeigten sich radioaktiv mit Ausnahme der Sole aus der Saline Liebenhalle bei Bad Salzgitter, in welcher nicht die geringste Menge Emanation nachzuweisen war, und der aus Bohrloch II Schöningen, welche nur Spuren von Radiumemanation enthielt. Die erste Probe war bei ihrer Untersuchung über zwei Tage alt, sodaß immerhin möglich ist, daß die frische Sole geringe Mengen von Emanation enthält, die andere Probe wurde sofort nach Entnahme aus der Quelle untersucht.

Quellen mit Radiumemanation.

In den meisten Solen findet sich Radiumemanation, in drei Wässern wurde auch Thoremanation nachgewiesen. Es folgen nun die Untersuchungsergebnisse der Quellen, welche Radiumemanation enthalten. Zunächst seien diejenigen der frisch untersuchten Quellwässer mitgeteilt. Die Resultate

sind in zwei Tabellen angegeben. In der ersten stehen neben den zur Berechnung von J nötigen Größen w, l_1, l_2 noch die Zerstreuung im Meßraum zur Zeit des Entfernens der Emanation, mit Z bezeichnet, der Wert der induzierten Aktivität A, in der oben angegebenen Weise berechnet, und die natürliche Zerstreuung n, alles ausgedrückt in Volt/Min. In der zweiten sind die daraus berechneten Größen i und J in Millivolt/sec. angegeben, sowie die eigentlich in Betracht kommenden Größen E und E_0.

I.

Ort der Herkunft der Probe	Datum	w	l_2	l_3	n	Z	A
Artern, Salztalsole . . .	27. 7. 08.	2170	1130	323	0,11	2,27	0,68
Elmen, Schachtsole . .	27. 8. 08.	2170	1130	318	0,64	8,80	1,94
„ , Viktoriaquelle .	27. 8. 08.	2170	1130	318	0,18	2,22	0,55
Kösen, Johannesquelle .	25. 7. 08.	2170	1130	318	0,21	3,38	1,11
Schöningen, Bohrloch III	6. 6. 08.	2425	875	269	0,25	2,49	0,72
Sulza, Beustquelle . .	24. 7. 08.	2170	1130	318	0,22	9,84	2,66
„ Alexander Sophienq.	24. 7. 08.	2170	1130	318	0,29	11,20	3,07
„ Constantinquelle . .	24. 7. 08.	2170	1130	318	0,20	11,55	3,59
„ Heinrichquelle . .	25. 7. 08.	2170	1130	318	0,10	3,71	1,72
„ Kunstgrabenquelle .	24. 7. 08.	2170	1130	318	0,35	2,91	0,78

II.

Ort der Herkunft der Probe	i	J	E	E_0
Artern, Salztalsole	24,67	13,90	0,694	0,978
Elmen, Schachtsole	103,64	57,56	2,877	4,058
„ Viktoriaquelle . . .	24,83	13,95	0,697	0,984
Kösen, Johannesquelle . . .	34,33	19,24	0,962	1,357
Schöningen, Bohrloch III . .	25,33	12,15	0,607	0,846
Sulza, Beustquelle	116,00	63,83	3,192	4,500
„ Alexander Sophienq. .	130,67	73,14	3,657	5,156
„ Constantinquelle . .	132,67	73,09	3,655	5,154
„ Heinrichquelle . . .	39,00	21,26	1,063	1,499
„ Kunstgrabenquelle . .	29,67	16,53	0,827	1,166

Mehrere Tage alte Proben.

Es wurden ferner untersucht mehrere Tage alte Proben der Quellen in Salzdetfurth, Elmen und Suderode. Von den 3 Bohrlöchern Salzdetfurths stand nur je eine Probe zur Verfügung und zwar wurde Radiumemanation nachgewiesen in Bohrloch II und III. Die Untersuchung ergab folgende Resultate:

Salzdetfurth.

	Bohrloch II	Bohrloch III
Datum der Untersuchung	26. 6. 08.	27. 6. 08.
Temperatur bei der Untersuch. . .	21°	21°
Alter der Probe	72,5h	94,75h
w	3215	3200
l_2	106	37
l_3	269	269
n	0,05	0,11
Z	1,77	1,00
A	0,31	0,24
i_t	23,50	10,83

Auf die Zeit des Einfüllens umgerechnet, ergeben sich folgende Werte für i, J, E und E_0:

	i	J	E	E_0
Bohrloch II	41,34	14,17	0,703	0,992
„ III	22,66	7,74	0,387	0,546

Es folgen die Resultate der Versuchsreihen mit der Elmener Schachtsole und der aus dem Beringerbrunnen, Suderode. Von dem Elmener Wasser wurden 5 Flaschen untersucht, wobei die Emanation mit der Schüttelflasche ausgetrieben wurde. Die Versuche dauerten vom 24. bis 26. 7. 08.

Schachtsole, Elmen.

Versuch:	I	II	III	IV	V
Alter der Probe . .	32,25h	51,0h	56,0h	75,5h	80,0h
w	3465	3540	3325	2955	2950
L_2	3260	3185	3400	3770	3775
l_3	196	196	196	196	196
n	0,10	0,14	0,13	0,12	0,10
Z	6,00	4,96	4,75	4,12	3,99
A	2,00	1,50	1,48	1,30	1,30
i_t	65,17	55,33	52,33	45,00	42,83
J_t	37,05	31,33	30,67	27,17	25,00

i_t ist die Zerstreuung, in Millivolt/sec. ausgedrückt, welche von der aus der Flüssigkeitsmenge w in den Meßraum gelangten Emanation herrührt, J_t diejenige, welche von der gesamten, in einem Liter Flüssigkeit enthaltenen Menge hervorgebracht würde. Hieraus berechnet sich die Zerstreuung J_0 zur Zeit des Einfüllens zu

$$J_0 = 47{,}40 \text{ Millivolt/sec.}$$

und

$$\lambda = 0{,}00783 \text{ Std.}^{-1}$$

ein Wert, der mit den von Curie und Rutherford für Radiumemanation gefundenen $\lambda = 0{,}00724$ und $\lambda = 0{,}00779$ gut übereinstimmt.

Aus J_0 ergibt sich

$$E = 2{,}370$$

und

$$E_0 = 3{,}342$$

Merkwürdiger Weise ist die bei dieser Versuchsreihe gefundene Aktivität um 0,716 Macheeinheiten geringer als die ein Jahr später gefundene. Daß etwa ein Verlust an Emanation durch Undichtigkeit der Probeflaschen stattgefunden hat, ist ausgeschlossen, da sonst der Wert für λ

zu groß ausgefallen wäre. Es hat also entweder in dem Jahre eine Aktivitätsänderung der Quelle stattgefunden, oder das Einfüllen der ersten Proben ist nicht sorgfältig genug geschehen. Letzteres ist jedoch nicht wahrscheinlich, da sonst der Wert für λ nicht richtig herausgekommen wäre.

Bei der Untersuchung des Beringerbrunnens vom 7. bis 8. 3. 08. wurde die Emanation nach der Zirkulationsmethode ausgetrieben.

Beringerbrunnen, Suderode.

Versuch:	I	II	III	IV
Alter der Probe	19,5h	24,0h	43,0h	48,0h
w	3070	3250	3165	3165
l_2	110	85	90	75
l_3	269	269	269	269
n	0,12	0,09	0,08	0,10
Z	1,81	2,05	1,74	1,40
A	0,35	0,50	0,32	0,28
i_t	22,83	23,39	22,33	17,00
J_t	8,33	8,08	7,90	6,02

Daraus ergibt sich:

$J_0 = 10{,}35$ Millivolt/sec. und $\lambda = 0{,}00855$ Std.$^{-1}$

$E = 0{,}514$

$E_0 = 0{,}725$

Ein Vergleich der Werte für E_0 mit der Aktivität anderer Quellen zeigt, daß die untersuchten Solen im allgemeinen nicht stark aktiv sind. Der enorm hohe Aktivitätsgrad der Gasteiner und Baden-Badener Quellen mit 126 (Büttquelle, Baden-Baden) bis 155 Macheeinheiten (Grabenbäcker, Gastein) wird jedoch von keiner erreicht.

Die anderen Quellen.

Die übrigen Quellen zeigten Anfangs stark abfallende Werte der Zerstreuung, welche aber bei einigen Quellen in

der 2. bis 8. Minute wieder stiegen. Hierher gehören die Solen aus Brunnen I Salzdetfurth, der Elisabethquelle Frankenhausen und der Constantinquelle Sulza.

In der nachfolgenden Tabelle sind die hierher gehörigen Beobachtungsresultate zusammengestellt. In der ersten Spalte stehen die Zeiten, vom Aufhören der Luftzirkulation an gerechnet, dahinter die dazugehörigen Zerstreuungs-Werte, in Volt/Min. ausgedrückt. Abgelesen wurde bei der Untersuchung der erstgenannten Quelle alle 2 Minuten, bei der Elisabethquelle anfangs von Minute zu Minute, später alle 2 Minuten, bei der Constantinquelle jede Minute.

t Min.	Brunnen I, Salzdetfurth	Elisabethquelle, Frankenhausen	Constantinquelle, Sulza
1	1,15	1,30	11,20
2		0,40	10,80
3	0,95	0,40	9,40
4		0,65	10,30
5	0,47		
6		0,75	
7	0,38		10,50
8		0,88	10,10
9	0,28		10,80
10		0,98	10,95
11	0,30		10,55
12		0,85	10,35
13	0,40		
14		0,83	
15	0,38		10,95
16		0,88	10,95
17	0,38		11,00
18		0,88	11,05
19	0,45		11,00
20		0,85	12,25
21	,045		11,35
22		0,73	
23	0,48		
24		0,75	11,40
25	0,55		11,20
26		0,85	11,30

t Min.	Brunnen I, Salzdetfurth	Elisabethquelle, Frankenhausen	Constantinquelle, Sulza
27	0,53		11,50
28		0,83	
29	0,45		
30		0,90	11,60
31	0,55		11,40
32		0,88	11,45
33	0,55		11,65
34		0,75	11,70
35	0,55		11,55
36		0,78	
37	0,55		
38		0,83	
39	0,55		
40		0,90	

Nach diesen Werten sind die Kurven Fig. 4 konstruiert. Merkwürdig ist, daß bei der Elisabethquelle die Aktivität nach der 20. Minute wieder zu fallen beginnt. Bei der Constantinquelle ist die Erscheinung des anfänglichen starken Abfalls weniger ausgeprägt. Alle 3 Kurven sind, wie schon gesagt, dahin zu deuten, daß sich in den Wässern Radium und Thoremanation gelöst findet. Letztere zerfällt in den ersten Minuten nach Schluß der Luftzirkulation und ruft die schnelle Abnahme der Zerstreuung hervor. Sie folgt aber nicht dem Abklingungsgesetz für Thoremanation, denn es befindet sich ja noch Radiumemanation im Meßraum, welche für sich allein ein Anwachsen der Aktivität hervorrufen würde. Daher fällt die Kurve langsamer ab, als man es für den Zerfall von Thoremanation erwarten müßte, und zwar um so mehr, je größer die Menge der Radiumemanation im Verhältnis zu der des Thors ist. Dies zeigt sich deutlich bei der Constantinquelle, wo der größte Teil der Zerstreuung von der überaus reichlichen Menge an Radiumemanation herrührt. Hier ist der anfängliche Abfall nicht so stark und am wenigsten ausgeprägt.

Nach dem Zerfall der Thoremanation beginnt die Aktivität wieder zu steigen, und zwar kann dieser Anstieg nur von Radiumemanation verursacht sein, weil das nächste Zerfallsprodukt des Thors, Thor A, keine Strahlung aussendet und die Wirkung von Thor B erst viel später merklich wird.

Der zweite Abfall der Aktivität bei der Elisabethquelle kann vielleicht dahin gedeutet werden, daß bei der geringen Menge der vorhandenen Radiumemanation ihr Gleichgewichtszustand bereits nach 20 Minuten eingetreten ist und nunmehr der normale Zerfall der Emanation zu Tage kommt.

Was den Ursprung der Thoremanation anbetrifft, so kann der nur in Zerfallsprodukten des Thors zu suchen sein, welche im Wasser gelöst sind. Denn die Salzdetfurther Probe war ja bereits mehrere Tage alt, als sie untersucht wurde, und es müßten sich geradezu enorme Mengen Thoremanation im Wasser gelöst finden, wenn sie nach 2 Tagen nachweisbar sein sollten. Selbst bei den beiden anderen frisch untersuchten Quellen halte ich es für ausgeschlossen, daß Thor nur als Emanation darin vorhanden ist, denn es vergehen vom Schöpfen bis zum Beginn der Luftzirkulation doch 3 bis 5 Minuten, und ehe die Emanation zur Messung gelangt, noch einmal 20 Minuten; in dieser Zeit sind aber selbst größere Mengen zerfallen.

Wenn es auch der anfängliche steile Abfall der Kurven sehr wahrscheinlich macht, daß Thor in den genannten Quellen enthalten ist, so mußte doch immerhin der genaue Nachweis dafür erbracht werden. Ich untersuchte deshalb die mit Paraffin gut verschlossen gehaltene Probe aus Salzdetfurth am 17. 7. 08, also 3 Wochen später, noch einmal mit Hülfe des Quadrantelektrometers. Seine Empfindlichkeit, d. h. der Ausschlag der Nadel, den ein Latimer Clark Element bei Ladung des Quadrantenpaars ab hervorruft, betrug 173 Skalenteile bei 21°. Das Zerstreuungsgefäß hatte vor dem Versuch 3 Stunden geschlossen an der Batterie gestanden und ergab die natürliche Zerstreuung von

7,5 Sct/Min. Dieselbe schwankte aber sehr stark und war minutenlang Null. Die Entaktivierung der Probe geschah in einem nicht geschlossenen Kreise auf die Weise, daß mit Hülfe eines Gummigebläses Luft durch die Probe geperlt, von da über eine Trocken- und Watteröhre in den Meßraum geleitet und dann ins Freie gelassen wurde. Gleichzeitig mit Beginn der Durchlüftung löste ich die Erdung des Quadrantenpaars ab und beobachtete, indem ich von Minute zu Minute ablas:

		Zerstr. in Sct/Min.
Nulllage: 5^h 30 Min.	503,5	
	703,8	200,3
	724,8	21,0
Schluß der Durchlüftung.		
	734,8	10,0
	738,3	3,5
	740,9	2,6

Auffallend ist der erste sehr hohe Wert der Aktivität 200,3. Er beweist, daß in der Sole ein selbständig radioaktiver Körper vorhanden sein muß, welcher in der Zeit nach der ersten Untersuchung wieder eine größere Menge Emanation entwickelt hat. Sehen wir den nächsten Wert 21,0 als stationären Zustand der Aktivität an, so entsprechen die folgenden der Abklingungskurve der Thoremanation, denn in einer Minute nach Schluß der Durchlüftung sinkt die Aktivität von 21,0 auf 10,0, also um etwas über die Hälfte, in der nächsten von 10,0 auf 3,5, also ungefähr wieder um die Hälfte. Abgesehen ist hierbei aus dem oben angegebenen Grunde von Berücksichtigung der natürlichen Zerstreuung, besonders in Anbetracht der niedrigen Werte 3,5 und 2,6.

Gleich darauf wurde ein zweiter Versuch angestellt, bei welchem während des Durchlüftens von Minute zu Minute nach Schluß alle 15 sec. abgelesen wurde. Es ergab sich:

			Zerstr. in Sct/Min.	
Nulllage:	$5^h\ 43^m$	503,9	54,0	
		557,9		
		566,8	8,9	Mittel:
		575,7	8,9	8,98
		581,5	8,8	
	$5^h\ 48^m$	593,8	9,3	
Schluß d. Durchlüft.				
		596,0	8,3	
		598,0	8,1	8,2
		600,0	8,1	
	$5^h\ 49^m$	602,0	7,9	
		604,1	7,9	
		606,1	7,9	7,9
		608,1	8,1	
	$5^h\ 50^m$	610,0	8,0	
		612,0	8,0	
		614,0	8,0	8,0
		616,0	8,0	
	$5^h\ 51^m$	618,0		

Auch hier beobachten wir beim ersten Luftstoß eine starke Anfangsaktivität gegenüber dem stationären Zustand, wobei die Aktivität nur 8,98 beträgt. Ziehen wir bei diesem Versuch den Wert der natürlichen Jonisation mit 7,5 in Rechnung, so bekommen wir für die Aktivität des radioaktiven Gases während des Durchblasens 1,5 und für sein Abklingen die Werte 0,7, 0,4 und 0,5, von denen sich die drei ersten vollständig der Abfallskurve für Thoremanation anschließen. Auch die beiden großen Anfangswerte scheinen von Thor herzurühren, denn es ist nicht wahrscheinlich, daß eine Aktivität von 54 Sct. von Radiumemanation hervorgerufen sein soll, weil sich diese nicht so schnell regeneriert.

Um nun die Thoremanation für sich allein nachzuweisen, wurde vor dem nächsten Versuch die Sole zwei Stunden ausgekocht und dadurch alle radioaktiven Gase entfernt. Während nun von Radiumemanation erst in ca. 4 Tagen die Hälfte der ursprünglichen Menge zurückgebildet ist, wird die gesamte Thoremanation schon in ein paar Minuten wieder neu erzeugt. Wenn wir also die Unter-

suchung etwa eine Stunde nach dem Auskochen vornehmen, wie es hier geschah, so kann nur Thoremanation zur Messung gelangen. Ferner wurde durch gutes Reinigen des Kessels dafür gesorgt, daß die natürliche Zerstreuung möglichst gering und konstant war. Sie betrug im Durchschnitt 1,83 Sct/Min. bei einer Empfindlichkeit des Elektrometers von 78 Sct. bei 22°.

Ausgekochte Probe durchlüftet am 21. 7. 08.

		Zerstreuung in Sct/Min.	
Nulllage: $11^h\ 5^m$	500,0		
	502,5	2,5	Mittel:
	504,9	2,4	
	507,3	2,4	2,53
	510,0	2,7	
	512,6	2,6	
	515,2	2,6	
Schluß der Durchlüftung.	×		
$11^h\ 11^m$	517,4	2,2	
	519,4	2,0	
	521,2	1,8	
$11^h\ 14^m$	522,8	1,6	

Abgelesen wurde von Minute zu Minute. Nach Abzug der natürlichen Zerstreuung ergibt sich für die Anfangsaktivität und ihr Abklingen:

$$\frac{0{,}70}{0{,}37}$$
$$0{,}17$$

Zahlen, die sich vollständig mit den für Thoremanation gültigen decken.

Da hier die beobachteten Aktivitäten sehr gering sind, wurde die Probe bei gesteigerter Empfindlichkeit des Elektrometers, 422,1 Sct. bei 19,3°, nach vorhergehendem Auskochen am 22. 7. 08 noch einmal untersucht. Die natürliche Jonisation war merklich konstant und betrug 6,3 Sct/Min. Abgelesen wurde wieder von Minute zu Minute.

Ausgekochte Probe durchlüftet:

		Zerstreuung in Sct/Min.	
Nulllage: $10^h\ 12^{Min.}$	499,3		
	514,3	15,0	Mittel:
	529,6	15,3	
	545,4	15,8	15,5
	561,0	15,6	
	576,6	15,9	
Schluß der Durchlüftung.	×		
$10^h\ 18^{Min.}$	588,9	12,3	
	597,2	8,4	
	604,8	7,5	
	611,6	6,8	
	617,7	6,1	
	623,7	6,0	

Nach Abzug der natürlichen Zerstreuung ergibt sich:

9,2
6,0
2,1
1,2
0,5

Auch diese Zahlen schließen sich dem Abklingungsgesetz für Thoremanation an, sodaß kein Zweifel bestehen kann, daß in der untersuchten Sole neben Radium auch Thorsalz vorhanden ist.

Die Stärke der Thoraktivität bei den letzten Versuchen ist sehr gering, in Volt/Min. umgerechnet ergeben sich aus den letzten drei Untersuchungen folgende Werte für die Aktivität der Thoremanation während des Durchblasens:

0,012
0,012
0,025

Wenn wir nun die erste Untersuchung vom 26. 6. berücksichtigen und aus dem Ergebnis (Fig. 4, Kurve 1) durch

Extrapolation den für die Thoremanation in Betracht kommenden Wert der Aktivität am Schluß der Luftzirkulation bestimmen, so ergibt sich J = 1,04 Volt/Min. Es ist also bei der ersten Messung bedeutend mehr Thoremanation vorhanden als bei den folgenden, die 20 bis 26 Tage später angestellt wurden. Dieses Ergebnis widerspricht zunächst der Annahme, daß in dem Wasser ein aktives Thorsalz gelöst sei, denn in diesem Falle müßten die entwickelten Mengen Thoremanation stets dieselben und bei ungefähr gleichen Versuchsbedingungen die gemessenen Aktivitäten ungefähr gleich sein. So aber nötigt uns die Tatsache, daß die entwickelten Emanationsmengen mit der Zeit abnehmen, zu der Annahme, daß das die Thoremanation erzeugende Salz selbst in Zerfall begriffen ist. Als solches käme Thor X mit einer Halbierungskonstanten von 4 Tagen in Betracht. Da nun die erzeugten Emanationsmengen dem jeweiligen Gehalt an Thor X proportional sind, müßten uns die für die ersteren erhaltenen Zahlen seine Abklingungskonstante ergeben. Die exakte Ausführung dieser Untersuchung ist wegen des schnellen Zerfalls der Thoremanation sehr schwierig, alle Versuche müßten mit gleichen Meßinstrumenten angestellt sein, die Schlauchleitungen nach dem Meßranm dieselben und der durch die Sole perlende Luftstrom müßte konstant sein, wenn man vergleichbare Resultate haben wollte. Bei unseren Messungen ist das keineswegs der Fall, immerhin ist zu erwarten, daß die Resultate, wenn unsere Vermutung richtig ist, in derselben Größenordnung liegen. Die Versuche wurden angestellt 20 bis 22 Tage nach der ersten Untersuchung. Nehmen wir 1,04 als Anfangswert der Aktivität von Thor X, so würde dieselbe nach 20 Tagen auf 0,065 und nach 28 Tagen auf 0,016 gesunken sein. Zwischen diesen Zahlen müßten unsere beobachteten Werte liegen, falls unsere Behauptung zutreffend ist. Nehmen wir aber aus den angegebenen Messungen das Mittel, so ergibt sich

0,016

eine Zahl, die innerhalb der gegebenen Grenzen liegt. Es ist demnach höchst wahrscheinlich, daß das in der Salzdetfurther Sole enthaltene Thor mit Thor X identisch ist.

Ferner scheint Thor X in der Bernburger Sole vorzukommen. Die erste Untersuchung mit dem Elster-Geitelschen Apparat am 14. 9. 07 vorgenommen, zeigte einen sehr schnellen Abfall der Aktivität, welcher stark auf das Vorhandensein von Thoremanation schließen ließ. Ich untersuchte deshalb auch diese Sole mit Hülfe des Quadrantelektrometers. Eingefüllt war die betreffende Probe am 9. 7. 08, die Menge betrug etwas über 3 l, untersucht wurde sie vom 15. bis 17. 7. 08. Diesmal wurde die Entaktivierung durch einen geschlossenen Luftkreis vorgenommen, um auch etwa vorhandene Radiumemanation nachzuweisen. Der frühere Versuch hatte ja bewiesen, daß ihre Menge nicht so bedeutend sein konnte, um das Vorhandensein von Thoremanation zu verdecken. Außerdem mußten beide, wenn sie länger im Kessel verblieben, streng an ihren induzierten Aktivitäten zu unterscheiden sein. Während das gebildete Radium B + C in 28 Minuten auf die Hälfte zerfällt, hat das in Betracht kommende Endprodukt der Thoremanation, Thor A, eine Halbierungskonstante von 11 Stunden.

Die Probe wurde eine Stunde lang entaktiviert, wobei ich schon das Elektrometer ablas, dann die Hähne schloß und die Aktivitätsänderungen mehrere Tage hindurch verfolgte. Die beobachteten Aktivitäten waren sehr gering, denn die Empfindlichkeit des Elektrometers betrug nur 61,7 Sct. bei 23,7°, für 1 L. Cl., deshalb sind die Aktivitäten in Sct/5 Min. angegeben.

Die Beobachtungen ergaben:

natürliche Jonisation 5,0 Sct/5 Min.
Beginn der Luftzirkulation 3^h 51^m.

Beobachtungszeit		Aktivität in Sct. 5 Min.	Akt. n. Abzug d. nat. Jon.
15. 7. 08	3^h 55	7,33	2,33
	4^h 15	7,10	2,10
	4^h 35	8,40	3,40
	4^h 50	9,26	4,26
4^h 55 Schluß × d. Luftzirk.	5^h	7,10	2,10
	5^h 15	6,70	1,70
	6^h	6,64	1,64
16. 7. 08	9^h 30	7,64	2,46
	11^h 30	7,07	2,07
	12^h 45	6,72	1,72
	6^h	6,40	1,40
	7^h	6,20	1,20
17. 7. 08	12^h 30	5,52	0,52

Zu diesen Zahlen ist zu bemerken, daß beim Entaktivieren sowie in den ersten 25 Minuten nach Schließen der Hähne von 5 zu 5 Minuten abgelesen wurde, die angegebenen Werte sind das Mittel aus 3 Beobachtungen, dann wurde wegen der geringen Aktivität die Zerstreuung in 15 Minuten beobachtet.

Aus der Tabelle ersieht man zunächst ein Ansteigen der Aktivität während des Durchblasens, es gelangt also ein radioaktives Gas in den Meßraum. Aber nach Schließen der Hähne findet eine schnelle Abnahme der Aktivität statt, welche zunächst darauf schließen läßt, daß auf keinen Fall Radiumemanation vorhanden ist, vielmehr deutet der schnelle Abfall auf Thoremanation hin. Obgleich uns die wenigen weit auseinander liegenden Beobachtungen nach Schluß der Luftzirkulation nicht gestatten, ihn zahlenmäßig zu verfolgen, läßt sich doch genau feststellen, ob das Gas mit Thoremanation identisch ist. Wenn diese nämlich kurze Zeit, wie in unserem Fall eine Stunde, mit einem Körper in Berührung gewesen ist, so ist die induzierte Aktivität zunächst gering, wächst dann aber, erreicht nach ca. 6 Stunden ein

Maximum und klingt nun in 11 Stunden auf den halben Betrag ab. Verursacht wird dieses eigentümliche Verhalten durch das Auftreten zweier Aktivitäten, Thor A und Thor B, welche durch die Halbierungskonstanten 11 Stunden und 55 Minuten charakterisiert sind,[1]) und zwar müssen wir nach Rutherford[2]) annehmen, daß der Zerfall von Thor A in B ohne Strahlung vor sich geht.

Berechnen wir nun unter diesen Voraussetzungen die Abklingungskonstante λ aus den letzten 6 Beobachtungen, so ergibt sich:

$$\lambda = 0{,}055 \text{ Std.}^{-1}$$

während die Abklingungskonstante für Thor A $\lambda = 0{,}06329$ Std. $^{-1}$ ist. Die Aktivität im Meßraum fällt also etwas langsamer, als man es für Thor A erwarten müßte. Jedoch läßt sich diese Abweichung aus der Methode erklären. Wie nämlich Reichau[3]) für Messingzylinder gezeigt hat, bleibt die natürliche Luftionisation nicht konstant, sondern nimmt innerhalb des geschlossenen Apparates mit der Zeit zu. Wenn man also diese Zunahme der spontanen Jonisation nicht mit in Rechnung zieht, wie hier, so müssen die erhaltenen Abklingungskonstanten kleiner ausfallen, als sie in Wirklichkeit sind. Konstruiert man übrigens aus den beobachteten Werten die Abfallskurve, so deckt sie sich fast vollständig mit der von Thor A. Es kann demnach als sicher erwiesen gelten, daß in der Bernburger Sole nur Thoremanation vorhanden ist.

Ferner untersuchte ich am 21. 7. 08 eine Probe, welche am 12. 9. 07 eingefüllt war, die also beinahe ein Jahr gelegen hatte. Es ergab sich, daß die Probe vollständig inaktiv war, woraus geschlossen werden kann, daß auch in

1) F. v. Lerch, Wiener Ber. 114. 1905. p. 553. Jahrbuch der Radioaktivität. 2. 1906. p. 463. Miss. Slater, Phil. Mag. (6). 9. 1904. p. 628.

2) Rutherford, Radioaktivität; p. 352.

3) Reichau, Dissertation, Halle 1908. p. 34.

dieser Sole nur Thor X gelöst ist, welches natürlich innerhalb eines Jahres zerfallen ist.

Ebenso wie die Bernburger verhielt sich bei den Untersuchungen mit dem Elster-Geitelschen Elektrometer Sole aus der Saline Stade, mit Hülfe der Schüttelflasche entaktiviert. Im folgenden sei ein Beobachtungsprotokoll mitgeteilt:

Saline Stade. Füllung: 10. 7. 07. $4^h\ 55^m$ nachm. 12. 7. 07.

Natürliche Zerstreuung.

Zeit	Ausschlag			Volt	Zerstreuung in Volt/Min.
	links	rechts	Summa		
$9^h\ 33^m$ vorm.	11,2	11,2	22,4	182,9	0,11
$10^h\ 3$	10,9	10,8	21,7	179,5	
Sole entaktiviert 10^h 22 bis 25. Luftzirkulation 10^h 25 bis 29.					
$10^h\ 29^m$	10,1	10,1	20,2	171,3	1,2
30	10,0	10,0	20,0	170,1	0,6
31	10,0	9,9	19,9	169,5	—
32	9,9	9,8	19,7	168,3	1,15
33	9,8	9,7	19,5	167,2	1,10
34	9,7	9,6	19,3	166,1	0,80
35	9,6	9,6	19,2	165,6	0,50
36	9,5	9,6	19,1	165,1	0,50
37	9,5	9,5	19,0	164,6	0,55
38	9,5	9,4	18,9	164,0	0,55
39	9,4	9,4	18,8	163,5	0,50
40	9,4	9,3	18,7	163,0	0,50
41	9,3	9,3	18,6	162,5	0,55
42	9,2	9,3	18,5	161,9	0,55
43	9,2	9,2	18,4	161,4	0,50
44	9,1	9,2	18,3	160,9	0,80
45	9,0	9,1	18,1	159,8	0,80
46	8,9	9,1	18,0	159,3	0,55
47	8,9	9,0	17,9	158,7	0,60
48	8,9	8,9	17,8	158,1	0,60
49	8,8	8,9	17,7	157,5	

Zeit	Ausschlag			Volt	Zerstreuung in Volt/Min.
	links	rechts	Summa		
	Emanation ausgeblasen 10^h 49–52.				
10^h 52	11,4	11,4	22,6	183,9	
53	11,3	11,1	22,4	182,9	0,50
54	11,3	11,1	22,4	182,9	
55	11,3	11,1	22,4	182,9	0,45
56	11,3	11,0	22,3	182,4	
57	11,2	11,0	22,2	182,0	
58	11,2	11,0	22,2	182,0	0,20
59	11,2	11,0	22,2	182,0	
11^h	11,2	11,0	22,2	182,0	

Das untersuchte Flüssigkeitsquantum betrug 3000 ccm.

Aus vorliegenden Werten ist ersichtlich, daß sich im Meßraum ein radioaktives Gas von längerer Lebensdauer befunden haben muß, welches beim Ausblasen entfernt wird; andererseits deutet der anfängliche starke Abfall der Zerstreuung auf Thor hin. Die Untersuchung fünf anderer sowie zweier vorher ausgekochter Proben ergab stets dasselbe Resultat: eine verhältnismäßig niedrige Anfangsaktivität von 1 bis 1,3 Volt/Min., welche schnell abfiel, eine Zeit lang konstant blieb um dann langsam wieder anzusteigen. Diese Sole steht demnach in ihrem Verhalten zwischen der Bernburger und Salzdetfurther: Gemeinsam mit beiden hat sie den schnellen Aktivitätsabfall zu Anfang, das Wiederansteigen derselben erinnert an die letztere, nur daß hier das Anwachsen nicht so stark ausgeprägt ist. Nach den bisherigen Resultaten läßt sich das Verhalten so erklären, daß sich in dem Wasser neben Spuren von Radiumemanation auch Thoremanation in größeren Mengen findet, und zwar müssen beide gelösten aktiven Salzen entstammen, da ein Abkochen der Sole ihre radioaktiven Eigenschaften nicht ändert.

Zur Bestätigung dieser Resultate untersuchte ich die Sole mit dem Quadrantelektrometer. Die betreffende Probe,

ca. 3 l, wurde am 3. 7. 08 eingefüllt und am 20. 7. 08 untersucht, nachdem sie vorher 2 Stunden ausgekocht war. Es ließ sich jedoch nicht einwandsfrei feststellen, ob Thor darin enthalten war, wie die nachfolgenden Daten zeigen:

Empfindlichkeit: 78 Sct. bei 22,2°.

Probe in einem nicht geschlossenen Kreis durchlüftet $4^h\ 56 - 53^h$.

		Zerstreuung in Sct/Min.	
Nulllage: $4^h\ 56^m$	501,2		
	503,2	2,0	Mittel:
	505,5	2,3	
	508,0	2,5	
	510,2	2,2	2,19
	512,2	2,0	
	514,5	2,3	
	816,5	2,0	
Schluß der Durchlüft. ×			
	518,6	2,1	
	520,3	1,7	
	522,4	2,1	

Die natürliche Zerstreuung betrug 1,63 Sct/Min.

Es findet zwar beim Durchlüften eine Erhöhung der Leitfähigkeit sowie ein Abfall der Aktivität in den ersten beiden Minuten nach Schluß der Luftzirkulation statt, die beobachteten Werte sind jedoch so unregelmäßig und so klein, daß nicht mit Sicherheit auf das Vorhandensein von Thoremanation geschlossen werden kann.

Für das Auftreten eines aktiven Radiumsalzes in dieser Sole spricht eine von Herrn Geheimrat Dorn am 21. und 22. 11. 07 ausgeführte Untersuchung: Die Probe, welche 4 Wochen gelegen hatte, ließ nach 20 Minuten langem Durchlüften zunächst ein Ansteigen und nach ungefähr 3 Stunden sowie am folgenden Tage ein Abnehmen der Leitfähigkeit erkennen.

Alles in allem stehen diese Tatsachen nicht mit der Annahme in Widerspruch, daß auch in dieser Sole Thor X

vorkommt. Dann ist nämlich die entwickelte Menge Thoremanation nach 3 bis 4 Wochen so klein, daß ihr Auftreten von der Radiumemanation verdeckt wird.

Quellsedimente.

Um zu entscheiden, ob nicht ein gewisser Zusammenhang zwischen der Aktivität der Quellwässer und der ihrer Sedimente besteht, und um die Natur der darin enthaltenen radioaktiven Körper zu bestimmen, untersuchte ich den Quellschlamm aus Schöningen, der Beust-, Constantin-, Sophien- und Heinrichsquelle in Sulza. Ihrer chemischen Zusammensetzung nach waren alle zum größten Teil Eisenverbindungen. Vor allem galt es festzustellen, ob und in welchem Maße Thorsalze darin vorhanden sind.

Elster und Geitel[1]) haben bekanntlich gezeigt, daß ein Draht, der eine Zeit lang mit hohem negativen Potential in freier Luft ausgespannt gewesen ist, die Erscheinungen induzierter Aktivität zeigt, welche von den beständig dem Erdboden entströmenden radioaktiven Gasen herrührt. Während Rutherford und Allan[2]) sowie Sella[3]) feststellten, daß die Aktivität von Elementen der Radiumfamilie stammt, wurde von Bumstead[4]) neben Radium auch Thor nachgewiesen.

Bestätigt wurde dieses Resultat von Burbank[5]) in Göttingen und später in Washington, sowie von Gockel auf dem Brienzer Horn. Es kann also kein Zweifel mehr obwalten, daß überall im Erdboden neben Radium auch Thor verbreitet ist, und daher war mit großer Wahrscheinlichkeit

1) Phys. Zeitschr. 2. 1901. p. 590.
2) Phil. Mag. Dec. 1902.
3) Lincei. Rend. 11. 1902.
4) Sill. Journ. Juli 1904.
5) Phys. Zeitschr. 6. 1905. p. 436. — Terrestrial Magnetiom and Atmorpheric Electricity. 1906.

anzunehmen, daß es auch in den Quellsedimenten vorhanden ist.

Zur Untersuchung wurde der Schlamm scharf getrocknet, in fein gepulvertem Zustand in einer Zinkschale unter die Glocke des Elster-Geitelschen Apparates gebracht und längere Zeit darin belassen. Um die von den radioaktiven Gasen induzierten Aktivitäten zu konzentrieren, erzeugte ich im Meßraum ein elektrisches Feld, indem ich den Zerstreuungskörper mit dem negativen, die Glocke mit dem positiven Pol der Stadtleitung mit einer Spannung von 220 Volt verband. Unterbrochen wurde die Verbindung mit dem Zerstreuungskörper nur während der Ablesungen. Bei dieser Versuchsanordnung schlagen sich alle Zerfallsprodukte auf dem letzteren nieder. Die Intensität der darauf angesammelten Aktivitäten wächst mit der Expositionsdauer, bis der Zustand radioaktiven Gleichgewichts erreicht ist. Die Zeit, in welcher dies geschieht, ist, wie G. A. Blanc[1]) gezeigt hat, für zwei verschiedene radioaktive Körper den Zerfallskonstanten umgekehrt proportional. Es kommen nun von den auf dem Zerstreuungskörper niedergeschlagenen Zerfallsprodukten der verschiedenen Radioelemente vorwiegend in Betracht: Radium B + C mit einer Zerfallskonstante von $4{,}13 \cdot 10^{-4}$ sec.$^{-1}$ und Thor A mit $1{,}74 \cdot 10^{-5}$ sec.$^{-1}$. Daraus ergibt sich die Zeit, um 99 % des Maximums der induzierten Aktivität zu erreichen

für Radium zu 3,1 Stunden,
für Thor zu 73,5 „

Falls Aktinium in den Sedimenten vorhanden ist, läßt sich dieses nicht an seinen Zerfallsprodukten nachweisen. Das hierbei in Betracht Aktinium A besitzt nämlich eine Zerfallskonstante von $\lambda = 3{,}2 \cdot 10^{-4}$ sec.$^{-1}$. Wegen ihrer Ähnlichkeit mit der von Radium C ergeben beide Elemente dieselbe Abklingungskurve und sind daher nicht von einander zu unterscheiden.

---

1) Phys. Zeitschr. 9. 1908. p. 294.

Nach dem Gesagten wurden die Sedimente über 73 Stunden im Meßraum belassen und während dieser Zeit das Anwachsen der Aktivität beobachtet. Abgelesen wurde je nach der Stärke von Minute zu Minute oder in längeren Intervallen, und aus je 3 Beobachtungen das Mittel genommen.

Nachdem das betreffende Sediment lange genug im Kessel belassen war, wurde es zu einer bestimmten Zeit entfernt, der ganze Apparat ca. 8 bis 9 Minuten im Freien tüchtig gelüftet und dann das Abklingen der induzierten Aktivität beobachtet. Nach jedem Versuch reinigte ich die Glocke des Meßraums sowie den Zinkteller sorgfältig durch Auswaschen mit verdünnter Salzsäure und durch Absmirgeln, den Zerstreuungskörper durch Abwaschen mit Wasser und Nachreiben mit einem Tuche. Vor und nach jeder Untersuchung wurde die natürliche Zerstreuung bestimmt. Es seien nunmehr die Beobachtungsresultate mitgeteilt. Das Ansteigen der Aktivität im Meßraum geschah ganz regelmäßig, wie die nachfolgende Tabelle zeigt. Die Zerstreuungen, in Volt/Min. angegeben, sind nicht direkt die beobachteten Werte, sondern sind den nach diesen konstruierten Kurven entnommen.

	Menge d. unters. Substanz	nat. Zerstr.	Zerstreuung			
			nach 5 Min.	24h	48h	72h
Beustquelle, Sulza . .	100 gr.	0,16	12,8	29,6	42,0	51,7
Constantinq., „ . .	100 gr.	0,04	15,4	33,5	46,0	55,0
Sophienquelle, „ . .	30 gr.	0,70	6,2	12,8	17,5	20,6
Heinrichquelle, „ . .	50 gr.	0,20	0,4	0,4 nach 19,5h	0,5 nach 43h	—
Schöningen, Bohrloch III	150 gr.	0,20	0,7	1,4	1,8	2,0

Die Stärke der Aktivität der Sedimente zur Zeit des Einbringens, auf gleiche Gewichtsmengen bezogen, ergibt sich daraus wie folgt:

	Potentialabfall in Volt|Min. auf 125 gr. bezogen	auf 1 gr bezogen	
		Milliv.|sec.	Macheeinh.
Beustquelle	14,55	1,93	0,096
Constantinquelle	18,70	2,53	0,126
Sophienquelle	22,50	3,00	0,150
Heinrichquelle	0,50	0,70	0,035
Schöningen	0,42	0,57	0,029

Die Stärke der Aktivität ist bei der Constantin-, Beust- und Sophienquelle sehr bedeutend. Zum Vergleich sind in der nachfolgenden Tabelle die Aktivitäten der Sedimente einiger anderer Quellen angegeben.

Aktivität von Quellsedimenten, bezogen auf 1 gr.

	Beobachter	Macheeinheiten
Mariannenquelle, Landeck	Reichau	0,0030
Mühlquelle, „		0,0048
Marienquelle, „		0,0023
Friedrichsquelle, „		0,0035
Georgenquelle, „		0,0066
Rakoczysprudel, Kissingen	F. Jentzsch	0,021
Solesprudel, Saline „		0,066
„ Schönborn, „		0,059

Nach den vorliegenden Tabellen besteht kein Zusammenhang der Aktivität des Quellwassers und des zugehörigen Sediments. Die Aktivität der Georgenquelle in Landeck übertrifft die der Sophienquelle in Sulza ca. 15 Mal, dagegen ist die Aktivität des letzteren Sediments ca. 21 Mal so groß wie die des ersteren. Bei den von mir untersuchten Quellen besteht insofern eine gewisse Beziehung zwischen beiden, als die am stärksten aktiven Quellen auch die radioaktiven Sedimente haben, wenn auch ihre Aktivität die des Quellwassers bei weitem übertrifft.

Das Abklingen der auf dem Zerstreuungskörper niedergeschlagenen Zerfallsprodukte wurde bei der Beust-, Constantin- und Sophienquelle verfolgt. Dabei ergab sich:

Beustquelle, Sulza.

Expositionsdauer: 169 Stunden.

Datum	Zeit in Stunden, vom Entfernen d. Probe an ger.	Zerstreuung in Volt/Min.
22. 9. 08 11h 40m vorm.	0,20	23,0
45	0,30	21,9
50	0,35	21,2
55	0,45	20,4
12h 0	0,52	19,2
5	0,61	18,2
10	0,70	17,2
15	0,80	16,3
20	0,85	14,5
1h 50	2,50	6,3
4h 20	5,00	4,5
5h 20	6,00	4,3
7h 20	8,00	3,8
23. 9. 08 9h 26	22,00	1,7

natürliche Zerstreuung nach Reinigung des Apparates: 0,64 Volt/Min.

Constantinquelle, Sulza.

Expositionsdauer: 142 Stunden.

Datum	Zeit in Stunden, vom Entfernen d. Probe an ger.	Zerstreuung in Volt/Min.
28. 9. 08 7h 42	0,20	20,0
27	0,45	19,2
33	0,55	18,8
38	0,65	18,0
45	0,77	16,8

Datum	Zeit in Stunden, vom Entfernen d. Probe an ger.	Zerstreuung in Volt/Min.
52	0,85	13,7
9h 10	2,00	7,4
10h 10	3,00	6,7
11h 10	4,00	5,9
1h 35	6,25	4,7
6h 50	11,50	3,2
6. 9. 08 11h	28,00	2,2

natürliche Zerstreuung nach Reinigung des Apparates:
0,58 Volt/Min.

Sophienquelle, Sulza.

Expositionsdauer: 140 Stunden.

Datum	Zeit in Stunden, vom Entfernen d. Probe an ger.	Zerstreuung in Volt/Min.
19. 9. 08 11h 31	0,20	7,8
41	0,35	6,5
51	0,50	5,9
12h 1	0,67	5,3
11	0,83	4,5
2h 8	2,75	1,6
3h 21	3,00	1,3
5h 8	4,75	1,1
30. 9. 08 8h 21	21,00	0,9
11h 21	24,00	0,7

natürliche Zerstreuung nach Reinigung des Apparates:
0,33 Volt/Min.

Nach diesen Werten sind die Kurven in Figur 5 gezeichnet. Alle drei zeigen denselben Typus und stimmen vollständig mit denen überein, die G. A. Blanc zu Rom bei einem in der Luft aktivierten Draht beobachtet hat.

Die Aktivität sinkt in 45 bis 50 Minuten auf die Hälfte, fällt dann langsamer, bis die Kurve in ihrem letzten Teil ziemlich flach wird. Das anfänglich schnelle Fallen rührt von Radium B und C her, während der letzte Teil vollständig den Zerfall von Thor B darstellt, nämlich dann, wenn alle Elemente der Radiumfamilie bis auf einen geringen Bruchteil verschwunden sind. Die Kurven für die Beust- und Constantinquelle schließen sich der für Thor sehr gut an, die für die Sophienquelle fällt in ihrem letzten Teil etwas flacher aus, als man es für Thor B erwarten sollte. Immerhin läßt die vollständige Symmetrie dieser Kurve mit den beiden anderen mit Sicherheit annehmen, daß auch in diesem Sediment Thorsalze vorhanden sind.

Trotz des höheren Anfangswertes fällt die Aktivität des Sediments aus der Beustquelle schneller und tiefer als des aus der Constantinquelle. Es ist also im letzteren bedeutend mehr Thorsalz enthalten. Bestimmen wir durch graphische Extrapolation die von den Produkten der Thor- und Radiumfamilie herrührenden Anfangswerte der Zerstreuung, so können wir auch das Mengenverhältnis von Radium und Thor in den Sedimenten berechnen. Es ergibt sich unter Berücksichtigung der natürlichen Zerstreuung bei der Beustquelle für die von Radium herrührende Anfangsaktivität 26,0 Volt/Min., für die von Thor 4,36 Volt/Min., bei der Constantinquelle entsprechend 15,95 Volt/Min. und 6,02 Volt/Min. Daraus erhält man als Prozentgehalt:

Beustquelle: 85,7% Radium, 14,3% Thor,
Constantinquelle: 72,6% Radium, 27,4% Thor.

Schluss.

Die vorliegende Untersuchung hat ergeben, daß fast alle Quellen Radiumemanation enthalten, deren Gehalt in Macheeinheiten ausgedrückt ist, d. h. es ist der Sättigungsstrom in tausendstel elektrostatischen Einheiten bestimmt, den die in einem Liter Flüssigkeit enthaltene Emanations-

menge zu unterhalten vermag. Diese von allen Versuchsbedingungen unabhängige Größe, in unseren Tabellen mit E_0 bezeichnet, gestattet, die Radioaktivität der verschiedenen Quellwässer zu vergleichen. Dabei muß bemerkt werden, daß die Korrektion nach Duane, welche auf die Größe E_0 führt, bisher nur von H. W. Schmidt und Kurz bei den Quellen des Taunus und von F. Jentzsch bei den Kissinger Heilquellen eingeführt ist. Zum Vergleich mit den Werten anderer Forscher wäre die in unseren Tabellen E genannte Größe zu benutzen.

Die Kenntnis des Emanationsgehalts ist wegen der therapeutischen Bedeutung der Radioaktivität einer Heilquelle von größter Wichtigkeit. Man neigt ja immermehr zu der Ansicht, die Heilwirkung einer Quelle dem Gehalt an radioaktiven Stoffen zuzuschreiben. Alle bisher angegebenen Werte für den Gehalt an Radiumemanation gelten nun für den Moment des Schöpfens aus der Quelle, damit ist aber noch nicht gesagt, daß der des Wassers beim Baden ebenso groß ist. Wegen der ungemeinen Flüchtigkeit entweicht die Emanation aus dem Quellwasser sehr schnell, wenn es mit Luft in Berührung ist oder gar Luft durch das Wasser geperlt wird. Das ist aber bei den bestehenden Schöpf- und Badeeinrichtungen immer der Fall: Wenn das Wasser aus der Pumpe kommt, fließt es gewöhnlich in ein Sammelbassin, hier findet gleich ein kräftiges Durchmischen mit Luft und damit Emanationsverlust statt, ein weiterer Teil geht in den Rohrleitungen verloren, die nie so luftdicht verschlossen sind, wie es hierbei der Fall sein müßte. Es ist nachgewiesen, daß in der ca. 10 km langen Rohrleitung von Wildbad Gastein nach Hof-Gastein die Emanation fast vollständig verloren geht, in der ca. 8 km langen Leitung von der Sirnitz im Schwarzwald nach Badenweiler sinkt die Aktivität von ungefähr 11 auf 3 Macheeinheiten. Der größte Verlust findet wohl beim Einlassen des Wassers in die Wanne statt, ebenso entweicht die Emanation beim Erwärmen oder beim Durchleiten von Kohlensäure. Natürlich bleibt

etwas Emanation gemäß dem Henry-Daltonschen Gesetz gelöst, und zwar um so mehr, je geringer die Luftmenge war, die mit dem Quellwasser in Berührung gekommen ist.

Der Emanationsgehalt eines Quellwassers ist also bei seiner Verwendung im Bade bedeutend geringer, als ihn die oben genannten Zahlen angeben. Eine Ausnahme bilden die Quellen, bei denen sich ein selbständig radioaktiver Körper gelöst findet, sei es nun Thor, sei es Radium. Hier wird die verloren gegangene Emanation z. T. wieder neu gebildet, außerdem wirkt der aktive Körper selbst durch seine Strahlung. Für therapeutische Zwecke muß also der Gehalt an radioaktiven Substanzen des fertiggestellten Bades angegeben werden, und die oben genannten Zahlen kommen nur insofern in Betracht, als im allgemeinen die am stärksten aktiven Quellen auch den größten Rest an Emanation besitzen werden.

Es wurde ferner nachgewiesen, daß in den Solen von Bernburg und Brunnen I, Salzdetfurth Thoremanation vorhanden ist, welche aus darin gelösten Thorsalzen entstammt. Messungen zu verschiedenen Zeiten ergaben, daß dieses Salz an Aktivität abnimmt, und die erhaltenen Zahlenwerte deuten darauf hin, daß der fragliche radioaktive Körper Thor X ist.

Die Übereinstimmung der für die Constantinquelle, Sulza und Elisabethquelle, Frankenhausen erhaltenen Aktivitätskurven mit der Salzdetfurther lassen mit Gewißheit darauf schließen, daß auch in diesen Quellen Thoremanation neben Radiumemanation enthalten ist. Für die Constantinquelle wird der Schluß durch Nachweis von Thor im Quellsediment bestätigt.

Für die Sole aus Stade ist das Auftreten einer Restaktivität nachgewiesen, welche wahrscheinlich gelösten Radiumsalzen zuzuschreiben ist. Die übrigen Beobachtungen machen es wahrscheinlich, daß daneben auch Thor X auftritt.

Die Untersuchung von Quellsedimenten hat gezeigt, daß kein Zusammenhang zwischen Aktivität des Wassers

und des Sediments besteht. Als sehr stark erwiesen sich die aus der Beust-, Constantin- und Sophienquelle, Sulza. In allen dreien wurde neben Radium auch Thor nachgewiesen.

Die beobachteten Erscheinungen lassen nur auf die bisher bekannten Radioelemente schließen, und es liegt kein Grund vor, das Vorhandensein neuer radioaktiver Stoffe in den untersuchten Solen anzunehmen.

Zum Schlusse sei es mir gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn geheimen Regierungsrat Prof. Dr. Dorn, für die freundliche Anregung zu dieser Arbeit sowie für die stete gütige Unterstützung mit Rat und Tat meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Lebenslauf.

Geboren bin ich, Hans Wieprecht, zu Magdeburg, als Sohn des Kaufmanns Emil Wieprecht und seiner Gemahlin Martha, geb. Gaudin. Meine Schulbildung erhielt ich auf dem Realgymnasium meiner Vaterstadt, das ich Michaelis 1901 mit dem Zeugnis der Reife verließ, um mich auf der Universität Halle-Wittenberg dem Studium der Mathematik und Naturwissenschaften zu widmen. Ostern 1906 bestand ich das Staatsexamen und wurde zur praktischen Ausbildung dem Gymnasium zu Neuhaldensleben überwiesen, wo ich seit Ostern 1908 als Oberlehrer angestellt bin. Während meiner Studienzeit hörte ich folgende Herren Professoren und Dozenten:

Brandes, Dorn, Fries, Graßmann, Grenacher, Klebs, Mez, Riehl, Uphues, Vaihinger, Volhard, Wangerin.

Allen diesen Herren, insbesondere Herrn Geh. Rat Dorn, bin ich zu großem Dank verpflichtet.

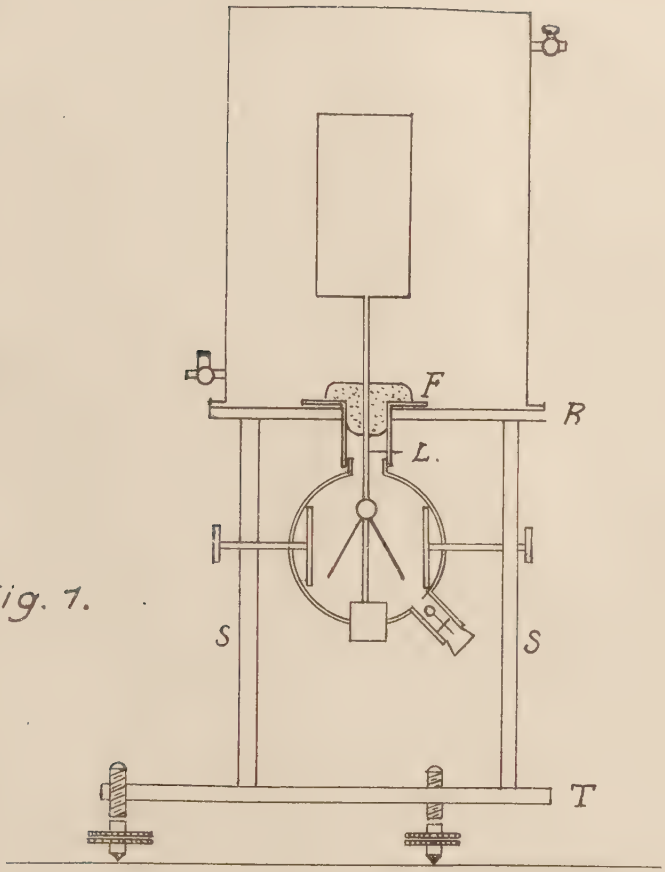


Fig. 1.

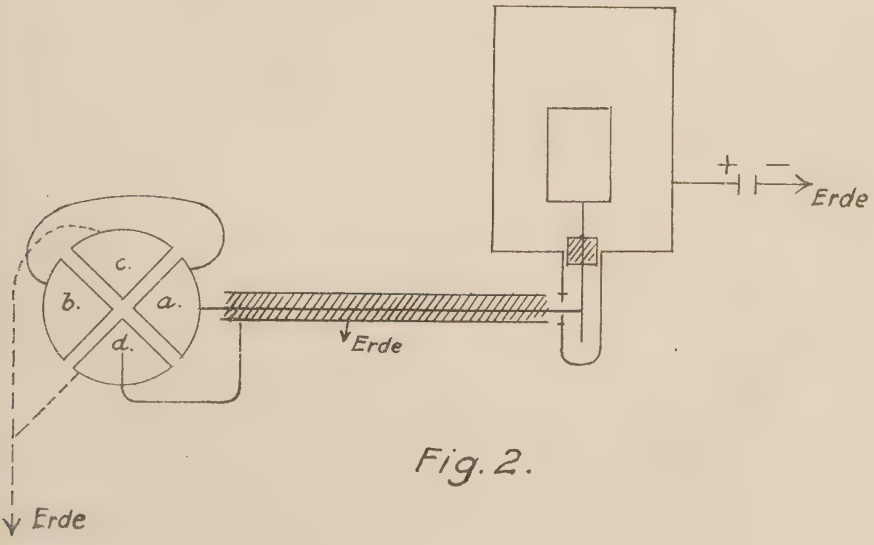


Fig. 2.

Fig. 3.

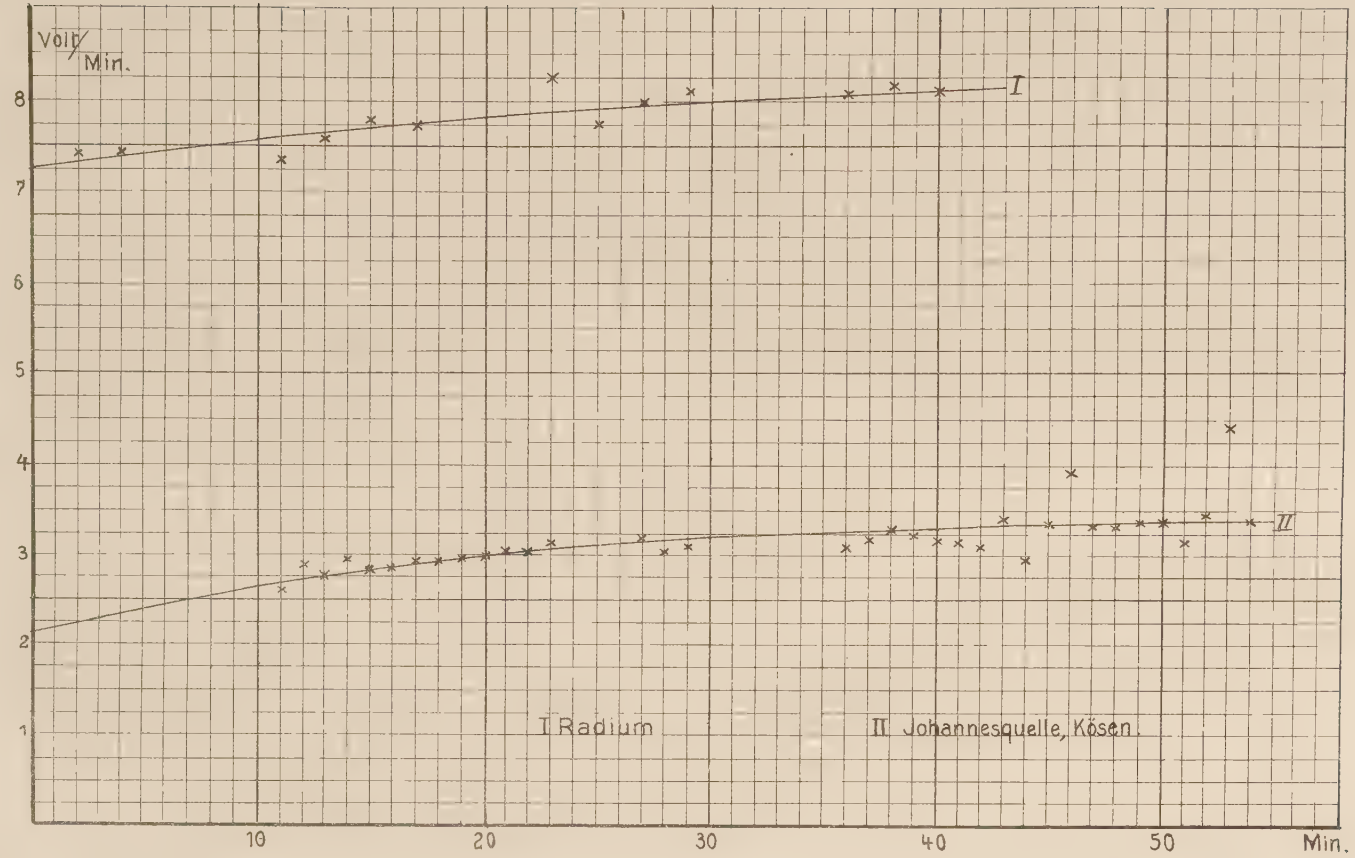

Volt/Min.
8
7
6
5
4
3
2
1
I
II
I Radium
II Johannesquelle, Kösen.
10
20
30
40
50
Min.

Fig. 4.

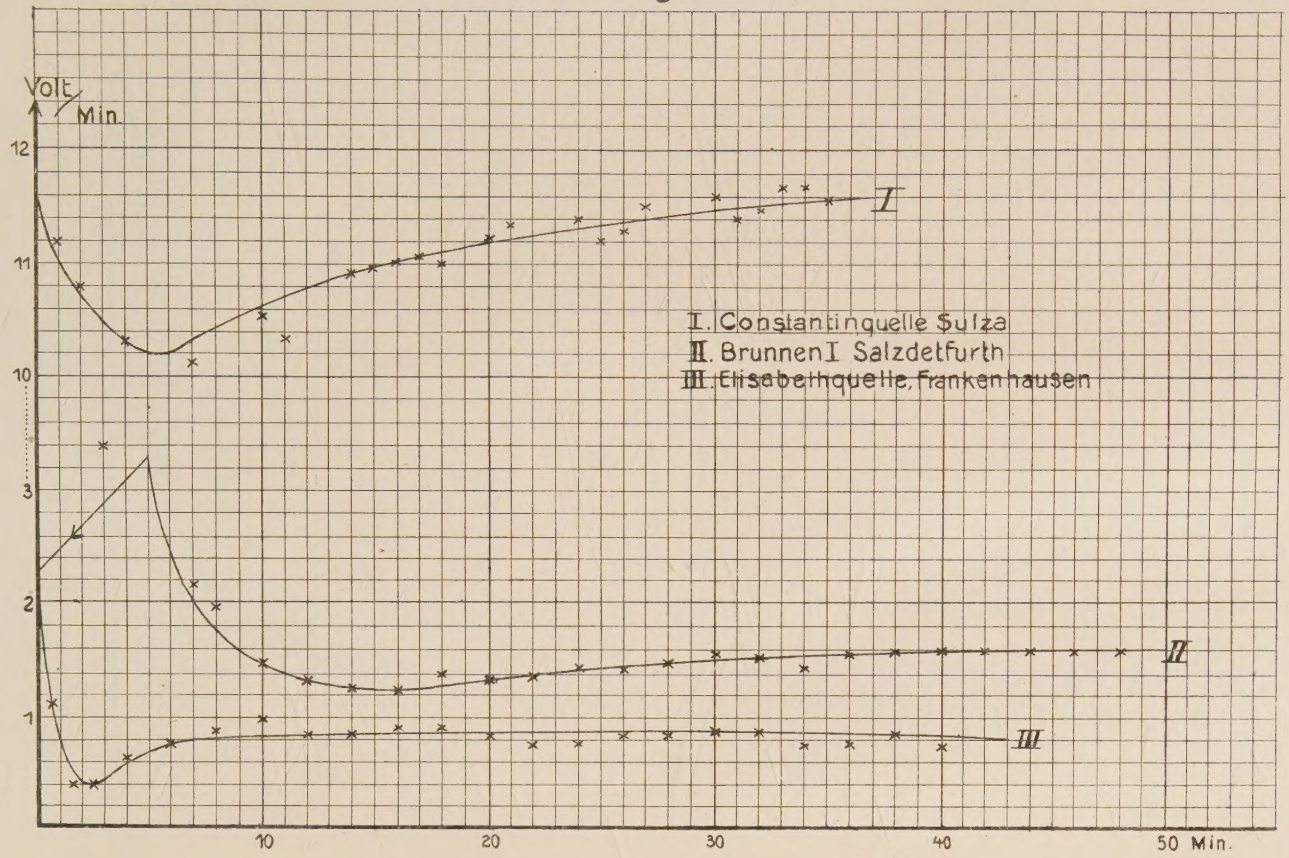
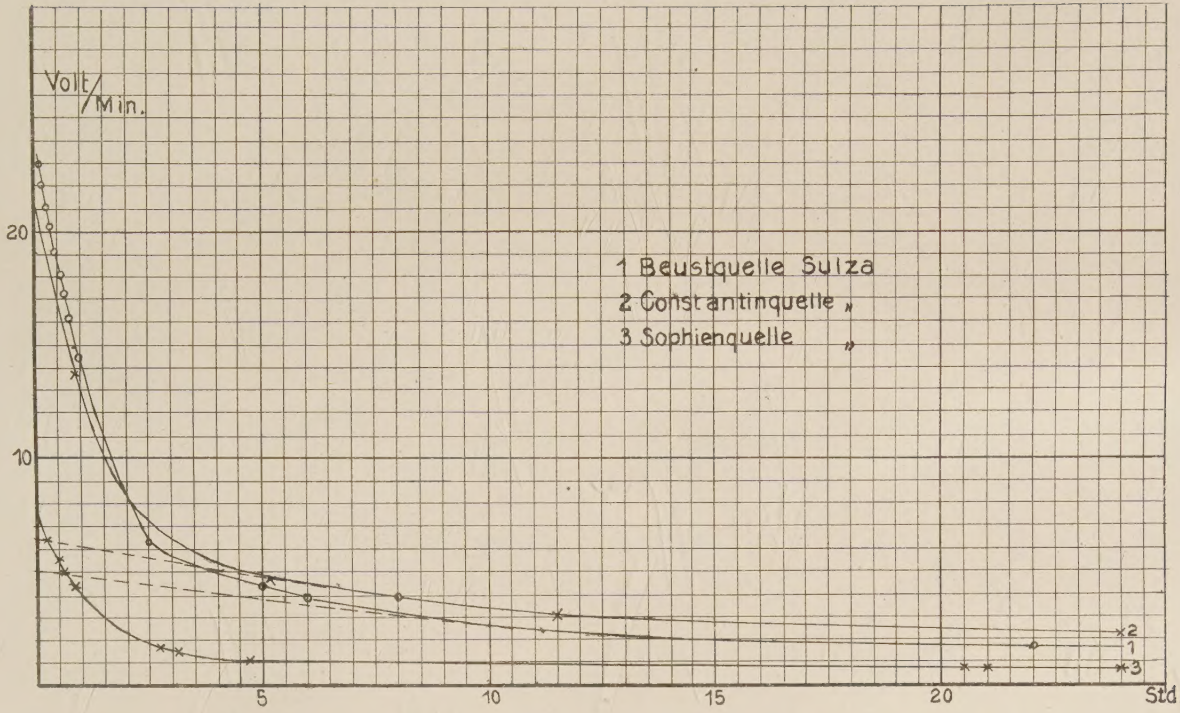

Volt
Min.
12
11
10
3
2
1
10
20
30
40
50 Min.
I
II
III
I. Constantinquelle Sulza
II. Brunnen I Salzdetfurth
III. Elisabethquelle, Frankenhausen

Fig. 5.


Volt/Min.
20
10
1 Beustquelle Sulza
2 Constantinquelle „
3 Sophienquelle „
5
10
15
20
Std.
2
1
3